

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 60-015780

(43)Date of publication of application : 26.01.1985

(51)Int.Cl. G06K 9/00

B25J 13/08

B25J 19/04

(21)Application number : 58-123260

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 08.07.1983

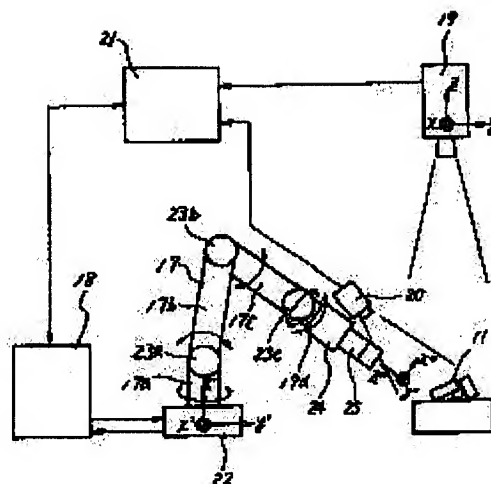
(72)Inventor : NINOMIYA TAKANORI  
NAKAGAWA YASUO

### (54) ROBOT

#### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To attain a perfect visual feedback by performing the arm control of a robot by using the distance (distance picture) between each point of an object and a certain fixed point and a picture obtained on the robot arm to detect the 3-dimensional position, posture and form of the object.

**CONSTITUTION:** A distance picture detector 19 obtains the distance picture of the object 11 and sends it to an image processor 21. The processor 21 also receives a picture viewed from the robot arm side from a picture detector 20 set on the arm 17. Based on both pictures, the form, position and posture of the object 11 are recognized respectively. The control signal is sent to a robot controller 18 to perform the visual feedback control so that the arm 17 is corrected to be at a correct position to the object 11. The processor 21 differentiates the distance picture signal to produce a jump edge picture and separates the object 11 into the areas closed by the jump edge for the recognition of the object 11. Thus the centroid and inclination of an important plane are also detected from the separated areas.



⑨ 日本国特許庁 (JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭60—15780

⑪ Int. Cl.<sup>4</sup>  
G 06 K 9/00  
B 25 J 13/08  
19/04

識別記号

庁内整理番号  
C 6619—5B  
7632—3F  
7632—3F

⑬ 公開 昭和60年(1985)1月26日

発明の数 1  
審査請求 未請求

(全 26 頁)

⑭ ロボット

⑮ 特 願 昭58—123260

⑯ 出 願 昭58(1983)7月8日

⑰ 発 明 者 二宮隆典

横浜市戸塚区吉田町292番地株  
式会社日立製作所生産技術研究  
所内

⑱ 発 明 者 中川泰夫

横浜市戸塚区吉田町292番地株  
式会社日立製作所生産技術研究  
所内

⑲ 出 願 人 株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台4丁  
目6番地

⑳ 代 理 人 弁理士 高橋明夫 外1名

明 細 書

1 発明の名称 ロボット

2 特許請求の範囲

1 ロボット基台部に対してある固定した点より作業対象全体の距離画像を検出する検出器と、上記距離画像検出器より検出された距離画像を定められた手順に従って処理し、対象物体の発見とその形状位置、姿勢を3次元的に認識するイメージプロセッサと、イメージプロセッサよりの認識結果に従って対象物体の定められた方向よりロボットアームを接近させるロボット制御装置と、ロボットアーム上に取付けられ、接近した位置より対象物体の画像を検出する画像検出器と、検出された画像を定められた手順に従って処理し、対象物体の形状、位置、姿勢を認識するイメージプロセッサと、イメージプロセッサの認識結果に従ってロボットアームを対象物体に対して正しい位置に補正するロボット制御装置を設け、組立、検査、調整などの作業を行うことを特徴とするロボット。

2 上記イメージプロセッサは、距離画像信号を微分してジャンプエッジ画像信号を形成する微分手段と、このジャンプエッジで閉じられた領域に分離する分離手段と、この分離された領域から必要な領域を抽出し、この抽出された領域から主要な平面の距離画像を抽出する抽出手段と、この距離画像によりこの主要な平面の重心の位置及び傾き等を検出する検出手段とによって構成したことを特徴とする特許請求の範囲第1項のロボット。

3 発明の詳細な説明

〔発明の利用分野〕

本発明は、ロボットにより組立、検査、調整等各種作業を行う上で必要となる対象物体の有無、位置、姿勢、作業範囲内の空間的状況を認識できるロボットに関するものである。

〔発明の背景〕

ロボット視覚として物体の位置、姿勢を認識するものとしては、第1図に例示するように作業テーブル1上に像検出器3を置き、周辺から

照明器4で作業テーブル上を照明し、像を検出する。そして対象物の位置、姿勢を認識し、その情報に従い、ロボットアーム2が動作する。この方法においては、テーブル平面上の物体の平面上における位置、姿勢が認識できるが、立体的な形状の認識はできない。例えば、テーブル上に山積みされた物体に対し、各物体の傾き情報に従って、その物体のグリップ面に合致するようにロボットアームを傾けて、物体にアプローチするという事はできない。また、対象物と作業テーブルの間にコントラスト(濃淡の違い)が明瞭に存在しないと、テーブル平面上での位置、姿勢も決定できない。

一方、ロボットの手先に視覚装置を付け、フィードバックするものがある。第2図は、その例であり、溶接ヘッド7で溶接を行う溶接線5をトラッキングするものである。これは、スリット光投光器6をロボットアーム2の先端につけ、溶接線上にスリット光8を投光する。そしてその像をロボットアームの先端につけた像検

出器3でななめ方向から検出し、溶接線の位置を求め、これの目標値からのずれがゼロとなるようにロボットアームを制御するものである。しかし、この方式では溶接線の位置、すなわち溶接の対象の位置の検出しかできず、対象物の3次元的位置、姿勢を認識し、組立、検査、調整等の作業をすることはできない。

#### 〔発明の目的〕

本発明の目的は、上記した従来技術の欠点をなくし、対象物体の姿勢、形状にかかわらず、対象物体の形状、位置、姿勢をロボットの座標系で認識し、作業出来るようにしたロボットを提供することにある。

#### 〔発明の概要〕

本発明は、ロボットの持つある固定された座標系の特点の点に、その位置から対象物体表面各点までの距離の情報、すなわち距離画像を検出する検出器を設け、作業対象全体の距離画像を検出し、検出した距離画像をイメージプロセッサを用いて、二次元的な微分を行って対象物

体の輪郭を検出し、この輪郭で分離された部分とその部分に対応する距離画像から得られる距離から三次元的に配置された対象物を発見、その位置、姿勢および形状を認識し、その結果をロボットアームの制御装置に伝送し、対象物体の三次元的に定められた方向よりロボットアームが接近するよう制御し、さらに、ロボットアーム上に取付けられた画像検出器より、再度対象物体の位置、姿勢を前記の距離画像の検出器より良い精度で検知し、ロボットアームに補正をかけ、最終的にロボットが三次元的に任意の位置、姿勢を持つ作業対象物に対して位置決め精度よく作業できるようにすることを要旨とする。

#### 〔発明の実施例〕

以下、本発明を図面により詳細に説明する。

まず、本発明における処理内容について説明する。前述したように、処理内容はロボットの座標系の固定された点から作業対象全体の距離画像を検出し、対象物体の発見とその位置、姿

勢を認識する第1の段階と、第1の段階よりの結果を用いてロボットアームを対象物体に接近させた後、ロボットアーム上の画像検出器よりの画像を用いてさらに正確な対象物の位置、姿勢を検出する第2の段階より成る(第13図)。

第1の段階で検出する距離画像9は、第3図に示すように、その画像の各点の値 $V_{ij}$ が、対象物11表面上の対応する点 $P_{ij}$ と検出器10との距離 $Z_{ij}$ に対して

$$V_{ij} = KZ_{ij} + C \quad \dots (1)$$

$K$ : 非零の定数,  $C$ : 定数

なる線形の関係を持った画像である。したがって、特に $K$ が負数の場合、 $V_{ij}$ は対象物表面の各点の高さを表わしたものと見なすことができる。さて、第4図のように、いくつかの物体が折り重なっている状態を、真上より距離画像の検出器でとらえた場合を規定すると、これに対応して第5図のような距離画像9が検出される。この第5図よりも明らかなように、物体と物体もしくは物体と背景の境界線では、一般に検出

器までの距離が急激に変化するため、距離画像の値も急激に変化する。距離画像ではこのような境界線をジャンプエッジと呼ぶ。この変化を画像の2次元的な微分を用いて検出すると、第6図のようになる。画像の2次元的な微分には何種類かの方式が知られているが、ここでは第7図に示す画像上の点 $(i, j)$ の微分値 $dij$ を

$$dij = \max \left( |V_{ij} - V_{i-1, j-1}|, |V_{i-1, j} - V_{i, j-1}| \right) \quad \dots (2)$$

$$i, j = 1, 2, 3 \dots$$

とする様な演算である。但し、 $(i, j)$ は検出器と対象物との距離方向に垂直な面の直交座標とする。得られた微分画像をある固定閾値で2値化すると、第8図に示すようなジャンプエッジ画像が得られる。同図において、黒線はジャンプエッジ12を渡わし、これは物体の輪郭線に対応することは前述した通りである。したがって、ジャンプエッジ12に囲まれた領域は、物体一つ一つに対応し、それぞれの領域を画像上で分離抽出することによって、物体を画像上で

分離できる。

以上のようにして分離抽出した各物体に対応する領域 $R$ から、その面積 $S$ および領域の平均的な高さ $H$ 、すなわち

$$H = \frac{\sum_{(i,j) \in R} V_{ij}}{S} \quad \dots (3)$$

について

$$\left. \begin{aligned} S_1 &\leq S \leq S_2 \\ H_1 &\leq H \leq H_2 \end{aligned} \right\} \quad \dots (4)$$

なる判定基準に合致した領域を、目的とする対象物体の領域として抽出する。 $S_1, S_2$ は対象とする物体をある平面上に投影した場合の面積の変動範囲の上限および下限、 $H_1, H_2$ は対象とする物体が存在すると予想される高さの上限値と下限値で、それぞれ、予め設定しておく値である。このようにして分離された対象物体の画像上での領域の形状は、一般に一定の形状を示さない。すなわち、この形状はある平面に対して投影された対象物体の2次元的な形状であってたとえば対象物体の立体的な形状が直方体であ

る場合、第9図に示すようにその姿勢により長方形または六角形になる。本発明では対象物体の立体的な形状、位置、姿勢を認識するため、対象物体がいくつかの平面で構成されていると考え、平面と平面の交線、すなわち稜線を検出する。稜線は、距離画像上では第10図に示すように値の変化率が変化する点、すなわち画像の2次微分値が極値をもつ点に対応する。このような稜線を距離画像においてはハーフエッジ13と呼ぶ。画像の2次微分法には種々の方法があるが、ここでは

$$rij = \left| \tan^{-1} \frac{V_{i+n, j} - V_{ij}}{n} - \tan^{-1} \frac{V_{ij} - V_{i-n, j}}{n} \right| + \left| \tan^{-1} \frac{V_{i, j+n} - V_{ij}}{n} - \tan^{-1} \frac{V_{ij} - V_{i, j-n}}{n} \right| \quad \dots (5)$$

なる2次微分値 $rij$ を用いる。ここで $n$ は2以上の整数であり、 $rij$ の値は、着目点 $(i, j)$ の距離画像値 $V_{ij}$ の傾き角度の変化に対応する。つぎに式(5)を用いて演算された2次微分画像をある閾値に従って2値化することにより、ハーフエッジ13を検出する。式(5)に示した演算は、

検出した距離画像全体にわたってほどこしてもよいが、先に分離抽出した、対象物体の領域のみで演算した方が、処理時間の短縮につながる。

以上のような処理を経て検出された対象物体のジャンプエッジ12、ハーフエッジ13よりなる画像は、例えば第10図に示したかたむいた直方体の距離画像の場合、第11図のようになる。ジャンプエッジ12およびハーフエッジ13に囲まれた領域は物体を構成する個々の面に対応するから領域を画像上で分離し、最も面積の大きな領域14を抽出することによって、物体を構成する主要な面15の1つを取り出すことができる。次にこの領域に対して平面近似を行う。すなわち、求める平面方程式を

$$t_1 x + t_2 y + t_3 = z \quad \dots (6)$$

とし、領域内 $m$ 個の点の距離画像より検出された $xyz$ 座標を $(ax_k, ay_k, az_k)$   $k=1, 2, \dots, m$ とすれば式(6)の $t_1, t_2, t_3$ は、 $(t_k)$ を行とする行列 $t$ として、

$$t = (A^T A)^{-1} A^T b \quad \dots (7)$$

と計算される。ここに  $A$  は  $(a_{11}, a_{12}, 1.0)$  を行とする行列、 $b$  は  $(b_{11})$  を行とする行列、 $T$  は転置行列、 $T^{-1}$  は逆行列を表わす。また  $xyz$  座標  $(a_{11}, a_{12}, b_{11})$  は、距離画像上の座標  $(i, j)$  および距離画像の値  $V_{ij}$  に線形変換をほどこした次の式として求められる。

$$\begin{cases} a_{11} = P_1 \cdot i + q_1 \\ a_{12} = P_2 \cdot j + q_2 \\ b_{11} = P_3 \cdot V_{ij} + q_3 \end{cases} \quad \dots (8)$$

これは検出画像上の座標から検出系の実座標への変換処理であり、 $P_1, P_2, P_3, q_1, q_2, q_3$  は検出器の検出分解能等より決定される定数である。

このようにして求めた対象とする物体の主要な平面 15 の近似式 (4) より、この物体の 3 次元的な姿勢はその主要な平面の法線方向 16 の  $z$  軸となす角  $\varphi$  と法線の  $xy$  平面への投影と  $x$  軸となす角  $\theta$  を用いて

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{t_1^2 + t_2^2 + 1}} \quad \dots (9)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{t_2}{t_1} \quad \dots (10)$$

これらの値を用いて直接ロボットアームを制御することはできない。このために、ロボットアームの座標系に座標変換する。ロボットアームの制御系の方式により、直角座標系、円筒座標系、極座標系など種々の座標系が考えられるがこれらの座標系への変換は、線型代数学の公式より公知である。

なお、以上説明した第 1 の段階の各処理過程において、式 (4), (8), (9) など演算方式を限定したが、同様の機能を有する他の演算方式を用いても良いことは勿論である。

つぎにロボットアーム上に設けた画像検出器が求められた対象物体の主要な平面の重心位置に立てた法線方向から物体を検出できるよう、ロボットアームを制御する。

以降、ロボットアーム上から画像を検出し、ロボットアームと対象物体の位置関係を更に正確に検出し、ロボットアームの正確な作業へと導く処理の第 2 の段階へ移行する。ロボットアーム上の画像検出器 20 は、第 1 の段階で使用し

特開昭 60-15780 (4)

と表わされる (第 12 図)。法線方向が求められれば、この方向から見た主要な平面の形状を簡単な座標変換で求めることができ、変換後の形状より、従来の平面的な画像処理技術を用いた対象物体形状、姿勢の認識も可能である。

また対象物体の位置は、主要な平面の重心位置  $(x_0, y_0, z_0)$  として次の式により求められる。

$$\begin{cases} x_0 = \bar{x}_{11} \\ y_0 = \bar{x}_{12} \\ z_0 = \bar{x}_{13} \end{cases} \quad \dots (11)$$

ここで  $\bar{x}$  は領域内での平均を表わす。また、この場合の平均は領域内の  $m$  個点に限らず、領域全面にわたって求めれば、精度の良いものとなる。

さて、以上説明した第 1 の段階による処理結果、すなわち、対象物体の主要な平面の重心の位置  $(x_0, y_0, z_0)$  および法線方向  $\varphi, \theta$  は、検出系の座標系によるものであり、この座標系は一般にロボットアームの座標系と異なるから、

た距離画像検出器より高分解能のものを用いるが、第 1 の段階で対象物体が発見されているのでその検出視野は小さくてよい。検出画像としては、第 1 の段階と同様、距離画像を検出し類似の処理を行うもの、2 次元濃淡画像を検出、処理するもの、その 2 値画像を処理するもの、スリット光による光切断法を応用した方法など種々のものが考えられるが、いずれを用いても良い。

次に以上説明した処理内容を実現する装置の具体例について説明する。第 13 図に全体構成の概略を示す。同図に示すように、装置はロボットアーム 17 およびロボット制御装置 18 よりなるロボット系、距離画像検出器 19、ロボットアーム上の画像検出器 20、イメージプロセッサ 21 からなる視覚系よりなる。

まず、ロボット系について第 13 図を用いて説明する。17 は産業用ロボットで、例えば 5 自由度を有する関節形ロボットである。産業用ロボット 17 はベース 22 に対して垂直軸を中心に旋回

する旋回台 17a、水平軸 23a を中心に回転する上腕 17b、その先に水平軸 23b を中心に回転する前腕 17c、その先に水平軸 23c を中心に回転し、更にこの水平軸 23c に直角な軸を中心回転する手首 17d とから構成されている。この手首 17d には指(チャック) 25 を付けた手機構 24 が備え付けられている。ロボットアーム上に取り付ける画像検出器 20 は、これらのうちいずれの部位に取り付けてもよいが、ロボットを動作させ、最も適切な方向より画像検出するためには、手機構 24 上に取り付けることが望ましい。18 はロボットを制御するロボット制御装置である。

次に第 14 図に従ってロボット制御装置 18 について説明する。ロボット制御装置 18 は 5 自由度をもった関節形ロボット 17 を制御するための制御ユニット 26 とロボットをポイント・ツー・ポイントでプログラムされた速度にもとづいて所定の軌跡に沿って動作または動かすために、予めプログラムされた軌跡および速度の情報を教

示するための教示ユニット 27 とによって構成されている。制御ユニット 26 とロボット機構 17 は位置制御システムを構成している。この位置制御システムは、アクチュエータ M に連結されたパルスエンコーダ PE によって発生された出力パルスをカウンタ 28 で計数して制御ユニット 26 にフィードバックし、マイクロプロセッサ 29 によって予め定められている目標値あるいは外部より与えられた所望の座標値との相違のデジタル信号を検出し、このデジタル信号を D/A 変換器 30 でアナログ信号に変換し、アクチュエータ M を駆動するように構成している。

駆動回路 31 はアクチュエータ M に接続されたタコジェネレータ TG からの速度信号と D/A 変換器 30 からのアナログ信号にもとづいてアクチュエータ M を駆動する回路である。シリアルインターフェース 32 は教示ユニット 27 と接続するためのものである。ROM 33 はロボットを動作させるためのプログラムを収納したメモリーである。RAM 34 は、教示ユニット 27 に用いて行う教示操

作による情報、またはインターフェース 35 を介して入力されるイメージプロセッサ 29 からの動作情報を演算部 36 により補間演算した結果であるロボットの手機構 24 の動作軌跡を記憶するものである。37 はバスラインである。

RAM 34 に記憶されたロボットの手機構 24 の位置データがマイクロプロセッサ 29 によって読み出され、カウンタ 28 より検出される回転変位  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$  に座標変換し、所望あるいは目標位置(例えば視覚系より入力される対象物体位置)へロボットの手機構 24 を駆動させる。

以上のロボット系の説明は 5 自由度を持つロボットに限定したが、他の自由度例えば 6 自由度のロボットについても同様に構成できる。本発明においては、特に自由度についての限定を行うものではない。

次に本実施例のもう一つの構成要素である視覚系について説明する。

距離画像検出器 19 の一実施例を第 15 図に示す。同図に示すように検出器は、対象物 11 の上方か

らスリット光 38 を投光するスリット光源 39 と、スリット光 38 と対象物 11 の交線、すなわちスリット輝線の光学像をななめ方向より検出する撮像器 40 とこれらの位置関係を保ったまま、水平方向に定速で駆動する送り装置 41、および撮像器 40 で検出されたスリット輝線を画像上から分離抽出し、その形状を波形信号として出力する光切断線抽出装置 42 より成る。この動作を第 16 図～第 20 図を用いて説明すると、スリット光 38 が対象物 11 に対して第 16 図に示す位置に当たっているとす。そうすると撮像器 40 にて検出される画像は、例えば第 17 図のようになる。この画像上において縦方向の線、例えば線 AB に沿った明るさの変化は、第 18 図のようになる。この線 AB に沿った明るさで最も明るい点の位置(第 18 図では  $\circ$ )を、順次線 AB を  $i$  方向に動かして抽出して行くと、第 19 図のようにスリット輝線の形状を波形信号として取り出すことができる。この形状は、対象物 11 の断面の形状を示している。以上の波形信号の分離抽出は、第 15 図の光



切断線抽出装置42により行われる。この光切断線抽出装置42の具体例は、例えば特開昭56-70407号に開示されている。

即ち第26図に示す如く光切断線抽出装置42は像検出器からの映像信号 $V$ 、設定値 $V_1, V_2$  ( $V_1 > V_2$ )、及び像検出器の各走査のトリガ信号 $Hd$  (TVカメラの場合、水平同期信号)を入力とし、最大位置検出回路57と中心位置検出回路58と選択回路59で構成される。

その機能は、第27図(a)に例示するように、まず、映像信号の最大値 $V_{max}$ が、第1と第2の設定値 $V_1$ と $V_2$ の範囲内に入っている場合、最大位置検出回路57によりその $y$ 位置 $Y$ を求める。また、 $V_{max}$ が $V_1$ より大きい時、(第27図(b)の場合)は、中心位置検出回路58により最初に $V = V_1$ となった $y$ 位置 $Y_1$ 、最後に $V = V_2$ となった $y$ 位置 $Y_2$ を求め、さらに $Y' = (Y_1 + Y_2)/2$ として、その中心位置を求める。そして、1つの走査中に回路58内で $V$ が $V_1$ 以上になった場合は選択回路59は回路58の出力を、他方、 $V$ が $V_1$

以上にならなかった場合は、選択回路59は回路57の出力を、それぞれ光切断線の位置として出力する。また、 $V$ が1つの走査中に $V_2$ 以上になる事がなかった場合、選択回路59はゼロあるいは不定出力を出力する。

第26図の実施例をより詳細に記したものが第28図である。第28図を使用して、動作内容をより具体的に説明する。

最大位置検出回路57は、ピークホルダ60、コンパレータ61、ワンショット回路62、アンド回路63、レジスタ64、コンパレータ66およびフリップフロップ67で構成される。一方、中心位置検出回路58は、コンパレータ68、フリップフロップ69、ワンショット回路70、71、 $Y_1$ レジスタ72、 $Y_2$ レジスタ73およびアンド回路74で構成される。また、各瞬間での $y$ 位置を知るためカウンタ65を有している。最大位置検出回路57では、映像信号 $V$ はピークホルダ60に入り、1つの走査中における、ある瞬間までの $V$ のピーク値をホールドする。コンパレータ61はこのホールド

されたピーク値とその瞬間の $V$ とを比較し、 $V$ がホールドされたピーク値よりも所定値以上大きくなった時、ワンショット回路62に信号を出力する。一方、 $V$ はコンパレータ66において $V_2$ と比較され、 $V \geq V_2$ の時出力する。これとワンショット回路62の出力のアンドをアンド回路63でとる事により、 $V \geq V_2$ でかつ $V$ がピークとなった瞬間を検出する事ができる。これをレジスタ64のロード信号として使用し、トリガ信号 $Hd$ でリセットされるカウンタ65のその瞬間の値をレジスタ64に記憶する。従って、一走査の終了時には、映像信号 $V$ が最大値 $V_{max}$ を示す $y$ 座標の位置 $Y$ をホールドしている。

中心位置検出回路58では、映像信号 $V$ は、設定値 $V_1$ とコンパレータ68で比較され、その出力は、フリップフロップ69のセット側 $S$ に入力される。なお、フリップフロップ69は、トリガ信号 $Hd$ によりリセットされる。従って、ワンショット回路70は、一つの走査において最初に $V \geq V_1$ となる瞬間を検出する。これをレジスタ72の

ロード信号として使用することにより、レジスタ72には最初に $V \geq V_1$ となった $y$ 座標上の位置 $Y_1$ がホールドされる。一方、ワンショット回路71は、 $V \geq V_1$ でなくなる瞬間を検出しており、これをレジスタ73のロード信号として使用すれば、レジスタ73には、一つの走査終了時に、 $V \geq V_1$ でなくなる $y$ 座標上の位置 $Y_2$ がホールドされる。74は、 $Y' = (Y_1 + Y_2)/2$ を演算する平均値回路である。

フリップフロップ69の出力は、 $V \geq V_1$ なる状態が、一つの走査中に存在したか否かの検出に使用することができる。また、フリップフロップ67は、トリガ信号 $Hd$ をリセット信号とし、コンパレータ66の出力をセット信号としているので、 $V \geq V_2$ というケースが一つの走査中に存在したかどうかの検出に使用する事ができる。従って、選択回路59では、これらを条件信号とし、 $V \geq V_1$ が存在した場合、74のホールド値 $Y'$ を、 $V_1 < V \leq V_2$ であった場合64のホールド値 $Y$ を、 $V \geq V_2$ なるケースがなかった場合、ゼロあるいは

は不定を表わす信号を出力する。

なお、この実施例では、像検出器40,42の詳細については触れなかったが、これはTVカメラ、2次固体撮像素子、1次元固体撮像素子と光学的走査方式の組合せ、光電子増倍管等受光器と光学的走査方式の組合せのいずれであっても良い。

更に、第26図および第28図の実施例では、各手段を達成する専用ヘッドを有するものとして図示したが、これらの手段は、いずれもマイクロコンピュータを用いて、そのプログラムにて処理することができる。

更に送り装置41により定速で少しずつスリット光38の位置および撮像位置を移動させながら逐次スリット輝線の形状の波形信号を抽出して行くと、全体として第20図に示すように、距離画像9が得られる。

本実施例における撮像器40は、TVカメラあるいはリニアセンサとガルバノミラーの組合せ等2次元画像検出器であれば何でもよく、本実施

例によれば、距離画像を比較的簡単な構成で高精度に検出できる。

第21図に距離画像検出器19の他の実施例を示す。同図に示すように、本実施例は、第15図に示した検出器の撮像器および光切断線抽出装置を2組組合せた構造を持つ。すなわち、スリット光38のなす平面に対して、対称の位置に2台の撮像器40a,40bを設け、やはり送り装置41によってスリット光源39を移動させる。光切断波形の抽出法は前例と全く同様であるが、本実施例では得られた波形信号を互いに波形の切れている部分を補うように合成43し、距離画像を生成する。ここで波形の切れている部分は、第22図に示すようにスリット輝線が片方の撮像器で検出できない部分44に対応し、距離画像では一種の影となる。本実施例では前述のように2方向から検出した波形信号を合成しているので影の少ない距離画像が得られるという効果がある。

なお、距離画像の検出器として、パルスレーザを対応する点に照射して、反射光の飛行時間

を計測することにより距離画像を生成する方式、レーザ光に高周波振幅変調をかけて対応する点に照射し、反射光の高周波振幅の位相遅れを計測することにより距離画像を生成する方式が知られているが、これらを用いても良い。これらの方式では、対象物各点各点の距離をレーザスポットを用いて計測しているのので、スポットを2次元的に走査する機構、例えば2組のガルバノミラーが必要であるが、一方これらは真上より光を当てて、真上より反射光を検出できるので、見えない部分の無い、つまり死角、影の無い距離画像を生成できるという利点がある。

次に、ロボットアームに取り付ける画像検出器20の実施例について説明する。

第23図は、ロボットアームに取り付ける画像検出器20としての距離画像検出器の実施例である。スリット光源39より投光されたスリット光38による光切断波形をTVカメラ45により検出する。この検出器をロボットの手機構24上に取り付け、手を動かしながら光切断線を抽出、波形

信号を取り込むことによって距離画像を生成できる。距離画像の処理方法は、前述した固定した位置に取り付けられた距離画像の場合と全く同様にできる。なお、本実施例の詳細および他の実施例は次のようになる。即ち77は産業用ロボットで、例えば5自由度を有する関節形ロボットがある。産業用ロボット17はベース22に対して垂直軸を中心に回転する旋回台17a、水平軸23aを中心に回転する上腕17b、その先に水平軸23bを中心に回転する前腕17c、その先に水平軸23cを中心に回転し、更にこの水平軸23cに直角な軸を中心に回転する手首17dとから構成されている。この手首17dには指(チャック)25を付けた手機構24が備え付けられている。この手機構24には主体形状検出器76が備え付けられている。主体形状検出器76は光切断ヘッド77と、この光切断ヘッド77をy軸方向に走査する直線移動機構79と、該直線移動機構79を駆動するモータ80と、該直線移動機構79によって走査される光切断ヘッド77の走査量を基準位置から



検出するロータリエンコーダ等の変位検出器82とから構成されている。

第29図では直線移動機構79として送りネジとナットしか描写してないが、実際には摺動機構がある。

83は上記モータ80を一定速度で駆動するモータ制御回路である。42は像検出器78から得られる二次元的映像信号を入力して特開昭56-70407号に記載されているように光切断線を抽出する光切断線抽出回路である。21はイメージプロセッサで、ロボットに最も近く、且つロボットで作業したい目的物の位置、傾きを検出するものである。18はロボット17を制御するロボット制御装置である。

第23図は、第29図の実施例における光切断ヘッド77をより詳細に示したものである。スリット投光器39は直線フィラメントのランプ84、スリット85、円筒レンズ86で構成されている。像検出器78は、結像レンズ87、TVカメラ45で構成されている。図中88は固体TVカメラ内の2次元

アレイセンサのチップを示したものである。

スリット投光器39はランプ84が発生した光の内、スリット85を投光した直線状の光を、円筒レンズ86により平行光線として前方を照射する。第23図に示す38は発せられるスリット光の面を示している。像検出器78は、保持部20により、その光軸がスリット光面38aに斜め(角度 $\alpha$ )交わるように傾けて固定されている。第23図38bの台形面はスリット光面38a中、像検出器78が検出する視野を示している。この視野内に物体があると、第30図に例示するように輝線38bが物体表面に生じ、この輝線像が像検出器で検出される。第30図はロボット作業の一例としてワイヤのついたコネクタ部品90の位置、姿勢を検出し、これを撮み、基板91上のピン92にさし込む作業状況を示している。第31図は第23図に示す像検出器78の検出画像であり、スリット輝線像として明るく検出される。この画面は第23図のスリット投光器39と像検出器78の幾何的關係で明らかなように画面上が遠く、下が近い遠

近関係にある。光切断線抽出回路42では、第31図のスリット輝線像を画面上からスリット輝線までの距離として、光切断線を抽出する。第32図にその処理例を示す。(詳細には特開昭56-70407号に開示されている。)第32図(a)は像検出器78から光切断線抽出回路42に入力する入力画像である。今像検出器78から得られる縦方向の例えば1本の走査線 $xi$ の映像信号は第32図(b)のようになっている。これより閾値 $V_i$ と映像信号を比較し、 $V_i$ の交点の中心位置 $Z_i$ を求める。各 $X_i$ について $Z_i$ を求め出力すれば第32図(c)のように光切断線(波形データ)を得ることができる。なお、光切断抽出はここに示した閾値処理で中心を求める他、ピーク位置検出であっても良い。また、この例では、Z軸座標は遠い方を原点としたが、近い方を原点としても良い。また遠近法に従ってZ軸方向を座標変換することも容易に可能である。またこの処理は電気回路で高速に行うことができるが、すべてソフトウェア処理であっても良い。

以上の処理をモータ80により光切断ヘッドを移動させながら行くと距離画像を得ることができる。第33図にその例を示す。第33図は光切断線を間引いて表示した例である。すなわち、xy平面画像として見ると、明るさZが、光切断ヘッド3からの距離Sに対応している。明るい方が近い画像である。(第34図において $Z_i = S_i \sin \alpha$ ,  $Z_i = S_i \cos \alpha$ で示される。)

ヘッドの移動、すなわち、y軸方向の送りは定速モータで行い、イメージプロセッサ21から得られるサンプリング信号92で光切断線抽出回路42は、一定時間間隔で光切断線をサンプリングする。パルスモータ80で送りながら一定パルス間隔毎に(一定距離PでZ方向に移動する間隔毎に)光切断線をサンプリングする。DCモータ80とエンコーダ82を組合せ一定長移動毎にサンプリングする等いずれであっても良い。検出する光切断線の本数は2本以上ロボット視覚の作業対象に応じて選定すれば良い。ピッチについても同じである。これらはイメージプロセッ

サ21により制御される。イメージプロセッサ21に入力された距離画像の処理内容もロボット視覚の作業対象に応じて選定すれば良い。ここで一実施例として第30図の作業対象について言えば、得られる距離画像は第33図のものであり、この距離画像(サンプリングされた光切断線 $y_i$ 毎に $x_i$ に対応した距離の値 $Z_i$ )は光切断線抽出回路42から得られパラレルインターフェース50aを介してイメージメモリ用のRAM51aに記憶される。イメージプロセッサ21のマイクロプロセッサ48は例えば第36図に示すように隣り合った光切断線 $y_{i-1}$ と $y_i+1$ に対する $x_{i-1}$ と $x_{i+1}$ について(3×3の検索について)の距離 $Z_{i-1,j-1}$ ,  $Z_{i+1,j-1}$ ,  $Z_{i-1,j+1}$ ,  $Z_{i+1,j+1}$ を読み出し、

$$Z_{i,j} = \frac{|Z_{i-1,j-1} - Z_{i+1,j+1}| + |Z_{i+1,j-1} - Z_{i-1,j+1}|}{2}$$

なる微分を施し、この値がある大きな基準値より大きいときジャンプエッジ(物体と背景の境界線)があるということで上記 $Z_{i,j}$ の値をRAM

62の別の領域に記憶する。更にマイクロプロセッサ48は第35図のように突線(ジャンプエッジ)Ejで囲まれた閉領域をセグメンテーションをする。そして各閉領域毎 $A_1, A_2$ の面積、重心の高さを求め、これらが指定された範囲内でありかつ重心の高さが最も高い目的とする対象物を分離抽出する。

更に例えば第35図に点線で示されるループエッジErとジャンプエッジEjとに囲まれた平面領域を抽出し、分離抽出された平面領域を平面近似し、その法線方向を部品の3次元的姿勢として認識する。即ちジャンプエッジとループエッジとで囲まれた主要平面の領域を最小2乗法で平面近似する。求める平面方程式を

$$t_1 x + t_2 y + t_3 = z \quad \dots (6)$$

とし、距離画像より抽出した主要平面内 $m$ 個の点のxyz座標を $(ar1, ar2, bi)$   $i=1, 2, \dots, m$ とすれば式(6)の $t_1, t_2, t_3$ は、 $(t_j)$   $j=1, 2, 3$ を行とする行列 $t$ として、

$$t = (A^T A)^{-1} A^T b \quad \dots (7)$$

と計算される。ここに $A$ は $(ar1, ar2, 1, 0)$ を行とする行列、 $b$ は $(bi)$ を行とする行列、 $T$ は転置行列、 $^{-1}$ は逆マトリックスを表す。

なお主要平面領域の重心位置は、すでにセグメンテーションの際に求められている。この主要平面の法線方向は法線とZ軸のなす角 $\varphi$ と法線のxy平面への投影とX軸とのなす角 $\theta$ で表わす。

$\varphi$ と $\theta$ は、平面近似の際に求めた $t$ (式(6))を用いて、

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{t_1^2 + t_2^2 + 1}} \quad \dots (8)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{t_2}{t_1} \quad \dots (9)$$

と表わされる。

更に第35図に示すようにこの $\varphi, \theta$ の値に従って主要平面のパラメータを回転させ、 $x', y', z'$ に変換すれば、法線方向からみた主要平面の形状を認識することができる。

このようにしてマイクロプロセッサ48は、目的とする物品の主要な面の位置と空間的傾きが

ロボットの手機構を基準にして求めることができる。これがコネクタの表面であるかどうかを前記に述べたようにその面の大きさ、形状から検定できる。また付近にワイヤA2のある方向を検知することにより、その反対側がピンを差し込むべき方向であることを決定できる。残りの2側面がロボットフィンガーが握むべき面である。なお、イメージプロセッサ21のROM49には、各々ジャンプエッジ検出とセグメンテーションと、目的部品の分離抽出とループエッジ検出による部品の平面領域の抽出と、平面の法線方向による部品の3次元的姿勢の認識と、部品の認識等のプログラムが記憶されている。RAM51bは演算部53で計算されたデータを一時記憶するものである。93はバスラインである。

そしてイメージプロセッサ21のインターフェース52から目的物の主要面の位置と姿勢と、方向のデータがロボット制御装置18に送られる。即ちロボットの指25の握み点、アプローチすべき位置とその方向が決定されたのでロボット制

御装置18のマイクロプロセッサ29はこれらをROM35に記憶されているロボットアーム制御のデータに加えてロボットの制御座標系に変換し、D/A変換器30を介して駆動回路31に伝達する。ロボット17に備えられた各アクチュエータMが駆動され、ロボット17の指は上記情報を元にコネクタ90を握み、あらかじめ数示によって与えられた位置に存在するピン92にこれを差込む。

なお、本発明の実施例としては、光切断法として定常的なスリット光を使用したか、これをストロボ発光としても良い。また本発明の実施例では、スリット光を使用したか、片側が明るく他の側が暗い、明暗の直線エッジであっても良い。またスリット光にかわって、スポット光を光切断面25上を走査させる方式であってもよい。

また距離画像をロボット17の手機構24に取付けた光切断検出ヘッド77から得るためには、第29図に示す実施例の如く手機構24の先に設けられた検出ヘッド走査機構によって直線的に走査させる他、ロボット制御装置18によってロボッ

トの手機構24をY軸方向に等速度に移動させながら、その座標値をイメージプロセッサ21に送ると共に一定間隔Pでサンプリングすればよいことは明らかである。しかしロボットの手機構24を平行に移動させて走査する実施例は、第29図に示す実施例に比べ応答性が悪い。

また距離画像を光切断検出ヘッドから得るためには、検出ヘッド走査機構が不可欠であるが、これは実施例第29図に示した直線移動機構の他第37図に例示するように紙面に垂直な回転軸94を中心に回転モータ95により撮像装置とスリット投光器39を揺動させる機構であっても、第38図に例示するように、スリット投光器39のみを揺動させる機構であっても良い。

この場合距離画像は各回転角に比例せず、三角関数を含む複雑な関係式になるため、目的とする物体のある平面の傾き方向、位置を求めることが非常に複雑となる。しかし、物体のある平面の傾き、方向、位置を正確に求める必要のないときは、上記関係式を近似式でおきかえら

れるため、走査機構として揺動機構を用いることができる。ただ手機構24に付ける走査機構として直線走査機構より揺動機構の方が機構として簡素化できる。

また前述したように距離画像の検出器として光切断法によらない方法を用いてもよいことは勿論である。

第24図はロボットアームに取り付ける画像検出器としての斜十字スリット光46を用いた検出器の実施例である。本実施例では、2台のスリット光源39a, 39bを斜十字状のスリット光46が照射できる様に配置し、2台のスリット光源39a, 39bを一つづつ発光させた場合の光切断波形をTVカメラ45を用いて検出する。

TV画像信号より光切断線抽出装置42を用いて波形信号を抽出し、予め求めておいた波形信号値と実際の座標との対応関係を示すデータ27を用いて対象物までの実際の距離、姿勢などを検出する。なお、本実施例の詳細については特願昭57-201931号に記載されている。

以下に、本発明のロボット視覚装置を用いた物体の位置検出および姿勢検出の一実施例について説明する。

ここでは、説明をわかりやすくするために、第39図に示した装置構成を例にして説明する。尚、以下の説明は、第40図に示す装置構成においても全く同様に適用できるものである。

第39図において、2個のスリット光源101a, 101bをそれぞれ1つずつ発光させた場合、撮像装置2によって検出される光切断線と物体の実際の位置等幅線Wと等距離線Dとの対応関係は、第41図(a)(b)に示すように、ななめ格子状になる。この対応関係をあらかじめ寸法が既知の物体を用いて検出器からの位置を覚えながら求め記憶装置に記憶しておく。そして、物体の位置姿勢の検出の際には、このあらかじめ記憶されている対応関係と撮像装置102から検出された光切断線の画像上の位置を照合することによって、物体の実際の位置と傾きを求めることができる。本発明では、2つのスリット光103a, 103b

を切替えて投光し、2つの互いに平行でない平面における物体までの距離、位置および傾きが求められるから、これらにより物体の3次元的位置と姿勢を一意的に求めることができる。

なお、本発明では2つのスリット光105a, 105bの交線106が対象物表面と交わるように検出器または対象物があらかじめ大まかに位置合せされているものとし、本発明のロボット視覚装置を用いて、検出器と対象物の相対的な位置と姿勢を精密に検出するものとする。

つぎに、検出される光切断線の画像上での位置と物体の実際の位置の対応関係を求める方法について、第42図を用いて説明する。ここでは第39図に示すスリット光源101aの場合についてのみ説明するが、第39図に示すスリット光源101aおよび第40図に示すスリット光源101a, 101bの場合も同様である。第42図に示すように、2つのスリット光の交線105が $z$ 軸に一致し、スリット光源101aによるスリット光103aが $xy$ 平面に一致するような座標系 $xyz$ を仮定する。まず、

として、線図上の横方向の座標 $i$ を変数として表わすと、

$$zj = f(i) = a_j 0 + a_j 1 i + a_j 2 i^2 + a_j 3 i^3 + \dots \quad (03)$$

$$xj = g(i) = b_j 0 + b_j 1 i + b_j 2 i^2 + b_j 3 i^3 + \dots \quad (04)$$

と近似することができる。何次まで近似するかは必要とされる検出精度により決定する。線図上のすべての $j$ （たとえば $j = 1 \sim 256$ ）について、 $a_j n, b_j n$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) を以上の方法であらかじめ求めておけば、検出された光切断線から式(03)(04)を用いて、逆にその $z$ 方向および $x$ 方向の位置を求めることができる。また、検出対象物を構成する一平面の傾きを求める場合には、以上の様にして求めた光切断線の端点の実際の座標 $(x, z)$  ( $x', z'$ ) より、

$$\theta_x = \tan^{-1} \frac{z' - z}{x' - x} \quad (05)$$

を用いて、その平面と $z$ 軸のなす角を求めることができる。

次に検出画像より光切断線を抽出する手段について具体的に説明する。この場合もやはり第39図に示した片側のスリット光103aの場合につ

き第42図に示すように $z$ 軸に垂直で撮像装置102の視野より広い平面106を、 $z$ 軸方向に平行移動できるように、目盛付のレール107上に立てる。平面106をたとえば1cmきざみで検出器から遊ざけながら検出画像上での光切断線の位置を求めて行くと、第43図に示す様な等距離線図が得られる。つぎに平面106を幅一定の長方形とし、このようなものをいくつかの幅について用意し、やはりレール107上を $z$ 軸に垂直になるように立てて $z$ 軸方向に移動させる。平面106の $z$ 軸方向に測った幅をたとえば2cmきざみとし、それぞれの平面106を $z$ 軸方向に移動させたとき検出される光切断線の端点の軌跡を求めると、第44図に示すような等幅線図( $x$ 座標に関する)が得られる。第43図に示した等距離線図と第44図に示した等幅線図において、線図上のある水平の線 $aa'$ に沿った距離および $x$ 方向の位置の変化を見ると、それぞれ第45図、第46図のようになる。これらを線図上の縦方向の座標 $j$ における距離の関数 $z$ および $x$ 方向の位置の関数 $x$

いて説明する。撮像装置102によって撮像した光切断線は、スリット光の幅や光学系のボケなどにより、一般的にはある幅を持っている。そこで、撮像装置102の水平走査方向を第43図と第44図に示した線 $aa'$ の方向(横方向)に一致させて配置し、各水平走査信号のピーク位置(すなわち最明点)の座標 $i$ を各 $j$ における光切断線の位置 $i$ とする(第47図参照)。このようにして、式(03)(04)を計算するための光切断線の位置の座標を抽出する。

次に、本発明のロボット視覚装置による対象物の3次元的位置、姿勢の検出過程を第48図に示す円柱状の物体109および第149図に示す平面上にいた円形の穴110の検出を例にして説明する。

まず、円柱状の対象物109の位置、姿勢の検出法について説明する。第40図に示すスリット光103aを投光した場合、たとえば第50図に実線Aに示すような光切断線が撮像装置102により検出されたとする。同図において、先に説明し

た根に横方向の最明点の位置を検出し、光切断線の形を抽出すると第51図に示す様になる。第51図に示す波形を折線近似し、各線分の端点の座標 $(i, j)$ をあらかじめ求めておいた式(13)を用いて実際の座標 $(x, z)$ に変換すると、第52図に示す様になる。この図において、最も $z$ 座標の小さい線分A、すなわち最も検出器に近い線分の中点から、円柱状の物体109の上面の $x$ 方向の近似的な中心位置が求められる。また、式(14)を用いて $xz$ 平面における物体109の傾きが求められる。つぎにスリット光源を切替え第40図に示すもう一方のスリット光103bについて得られる光切断像(第50図中に破線Bで示す)についても、全く同様の検出を行うことにより、円柱状の物体109の上面 $y$ 方向近似中心位置と、 $yz$ 平面における物体109の傾きを求める。更に、以上の検出結果をもとに、検出器から物体109の上面の中心位置までの距離 $z$ は、円柱状の物体109の上面が $z$ 軸にほぼ垂直である場合、

$$z = \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{z_3 - z_4}{y_3 - y_4} \cdot \frac{y_1 + y_2}{2} \quad (15)$$

49図に示す穴110を撮像装置で撮像したとき得られる光切断線の一例を示す図である。この場合も、前例と同様に $xz$ 平面および $yz$ 平面における2組の光切断像をスリット光源を切替えることによって、独立に検出する。第53図における実線と破線は、このようにして得られる2組の光切断像を示している。同図において、点 $a_1, a_2$ を結ぶ線分と点 $b_1, b_2$ を結ぶ線分をそれぞれ前例の第50図における線分A, Bに対応させた処理を行うことによって、全く同様に穴110の位置および穴のあいている方向の検出を行うことができる。

以下に、本発明のロボット視覚装置の具体的な実施例について説明する。まず、装置全体の構成およびその動作について説明し、しかる後検出器各部の具体的な構成について述べる。

第24図は本発明のロボット視覚装置の全体構成の一実施例を示す図である。検出器は撮像装置2とスリット光源39a(101a), 39b(101b)から構成されており次の様な配置構成法によってい

または、

$$x = \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{z_3 - z_4}{y_3 - y_4} \cdot \frac{y_1 + y_2}{2} \quad (16)$$

として求められる。ここで、 $z_1, z_2$ は円柱状の物体109の上面における $xz$ 平面の光切断像(第50図に示すA)の端点の $z$ 座標であり、 $y_1, y_2$ は $yz$ 平面の光切断像(第50図に示すB)の端点の $y$ 座標であり、 $z_3, z_4, y_3, y_4$ はそれぞれ4つの端点の $z$ 座標を表わす。以上の検出結果よりもし円柱状物体109の上面の $xz$ 平面および $yz$ 平面における傾きが $90^\circ$ と著しく異なり、光切断線の中点から中心位置を求める方法および式(14)または(15)による距離の計算の誤差が無視できないと判断される場合には、傾きの検出結果に従ってロボットアームを移動させ、 $z$ 軸すなわちスリット光39a, 39bの交線が面にほぼ垂直になるようにし、再度中心位置および距離の検出を行う。

つぎに、第49図に示す平面上に垂直にいた円形状の穴110の中心位置および穴のあいている方向の検出法について説明する。第53図は第

る。すなわち、

(1) 2つのスリット光46a(103a), 46b(103b)のなす平面の交線105を、ロボットのグリップ25の回転軸に一致させる。

(2) スリット光源39a, 39bの光軸108a, 108bおよび撮像装置45(102)の光軸108cはスリット光46a, 46bの交線105上のほぼ一点で交わる。

(3) スリット光源39a, 39bの光軸108a, 108bおよび撮像装置45(102)の光軸108cは同一平面上にある。

(4) スリット光源39aの光軸108aとスリット光の交線105のなす角と、スリット光源39bの光軸108bとスリット光の交線105のなす角とは等しい。

(5) スリット光源39aの光軸108aと撮像装置45(102)の光軸108cのなす角と、スリット光源39bの光軸108bと撮像装置45の光軸108cのなす角とは等しい。

以上の様な配置でロボットアーム24上に検出器を構成する。検出器の構成法の他の変形例と



しては、上記の(1)~(4)のうち論理的に可能な1~4個の組合せがある。また、第24図では検出器がロボットのグリップ25を回転駆動する部分に固定されているが、グリップ25上に固定し、グリップ25と一体に回転させる様に構成しても良い。

このロボット視覚装置の全体は第24図中のイメージプロセッサ47によって制御される。すなわち、スリット光切替装置113を制御し、スリット光源39a, 39bが1つずつ発光するようにし、それぞれの光切断像を撮像装置45(102)によって検出する。検出された画像信号は光切断線抽出回路42に入力され、光切断波形がイメージプロセッサ47に入力される。光切断線抽出回路42は、先に説明した方法に従って2次元画像データを1次元波形データに圧縮するものであり、特開昭56-70407号に開示されている装置を用いても良い。このようにして得られた2組の光切断線波形データは、イメージプロセッサ(マイクロコンピュータ)47内に先に説明した手順で

処理される。すなわち、波形データの折線近似の後式(1)~(4)の計算を行って対象物の3次元的位置及び姿勢を検出し、そのデータ117をロボット腕機構の制御装置に出力する。式(1)~(4)を計算するのに必要な係数 $a_{jn}, b_{jn}$ ( $j=0, 1, 2, 3, \dots, n=0, 1, 2, 3, \dots$ )は、先に説明した方法であらかじめ求められ、記憶装置116内に格納されており、必要な時適宜読み出されて使用される。

次に本実施例のロボット視覚装置の動作について詳細に説明する。

対象物の検出を行う前に、すでに説明した様に、式(1)~(4)に示した係数 $a_{jn}, b_{jn}$ (および同様にして得られる $y_j$ の係数)を記憶装置116に格納する作業が必要である。第42図に示した装置を用いてスリット光の交線105がレール107と平行になる様にロボットを動作・固定し、すでに説明した方法で第43図に示す等距離線図と第44図に示す等傾線図を求める。この作業はスリット切替装置113で切替え、2つのスリット光46a(103a), 46b(103b)についてそれぞれ行う。つ

ぎに、これらのデータをもとにイメージプロセッサ47によって多項式近似を行い、各 $j$ における式(1)~(4)の係数 $a_{jn}, b_{jn}$ を求め、記憶装置116に格納する。

対象物体の検出過程では、すでに第48図及び第49図を例にして説明した様に、イメージプロセッサ47がスリット光切替装置113を制御し、2組のスリット光源101a, 101bをそれぞれ発光させた場合の光切断像に基づく光切断波形を光切断抽出回路42によって得て、これをイメージプロセッサ47によって折線近似した後、それぞれの線分の実際の位置座標が記憶装置116に格納された係数 $a_{jn}, b_{jn}$ をもとにして式(1)~(4)(および同様な $y_j$ を求める式)を用いて求められる。イメージプロセッサ47は、2組のスリット光源101a, 101bをそれぞれ発光させた場合の線分のうち、対象物体上の線分を、距離 $x$ を判定基準にそれぞれ1本ずつ選び出し(通常、最も検出器に近く、視野の中央近くにある線分)、それぞれの4つの端点から、式(1)~(4)および線分の

中点の計算を行って、対象物体の位置および姿勢を検出し、ロボット腕機構の制御装置に出力する。

次に検出器各部の具体的構成について説明する。撮像装置45にはTVカメラを用い、第47図に示したものの方向と水平走査方向を一致させることにより、高速で光切断線を検出することができる。もちろん、TVカメラ以外の2次元画像検出器、例えば1次元フォトダイオードアレーとガルバノミラーとの組合せでも良い。TVカメラのうち、特に2次元固体イメージセンサを用いたものは、(イ)耐震・耐衝撃性、(ロ)寿命、(ハ)画像ひずみ、(ニ)小型・軽量、(ホ)省電力、の5つの点で、電子管を用いたものよりも優れている。第54図は2次元固体イメージセンサ119を用いた撮像装置の一具体例を示す図である。本具体例では、ロボットアームに搭載される部分は、第55図に無線で図示する様に、TVカメラ制御ユニット122を除いた2次元固体イメージセンサ119と前置画像信号増幅器120と同期

駆動信号波形整形回路121のみであり、さらに小型、軽量化が図られている。第54図において前段画像信号増幅器120は基板123a上に搭載され、2次元固体イメージセンサ119と同期駆動信号波形整形回路121は基板123b上に搭載され、支柱124で裏ぶた125上に固定されている。裏ぶた125にはコネクタ126が取付けられ、一切の信号、電源の供給はこのコネクタ126を介して行われる。また、裏ぶた125および外枠127は内面に静電シールド用の銅箔を貼った(または金属メッキを施した)プラスチック等の非金属で構成されている。さらに、結像レンズ128をプラスチック化することも可能である。以上の様に、本実施例による撮像装置を用いれば、耐震、耐衝撃性、長寿命、低画像ひずみ、省電力という特徴に加え、検出器を著しく小型、軽量化できる効果がある。

次に、スリット光源101a,101bの具体的構成について説明する。光源としては、ハロゲンランプや放電管や発光ダイオード等を使用するこ

とができるが、(イ)耐震、耐衝撃性、(ロ)寿命、(ハ)小型、軽量化の3点で発光ダイオードが最も優れている。第56図は発光ダイオードを用いたスリット光源の一具体例を示す図である。発光ダイオード129には、赤外発光の高出力タイプが用いられる。通常2次元固体イメージセンサの最大感度波長は、800nm付近であるので、この波長の発光ダイオードを用いれば検出感度を最大にできる。第56図に示す様に、発光ダイオード129は、複数個をシリンドリカルレンズ130の長手方向に一致させて一例に並べて配置する。第56図(e)に示す平面図において、発光ダイオード129とスリット131はシリンドリカルレンズ130に関して結像関係にある。また、結像面132の位置は概略の対象物位置に設定し、結像面132とスリット131とは結像レンズ133に関して結像関係にある。以上の様な構成をとることにより、発光ダイオード129から発光される光を効率良く集光し、スリット光を形成できるので、上記した3つの特徴に加え明るいス

リット光源を実現できる。さらに、発光ダイオード29にレンズを用いた指向性の強いものを用いることにより、更に強力なスリット光源も実現可能である。

第57図は発光ダイオードを用いたスリット光源の他の具体例を示す図である。第57図に示す様に、発光ダイオード129を複数個スリット131に沿って配置し、スリット131と結像面132は結像レンズ133に関して結像関係にある。またシリンドリカルレンズ130は、スリット光に結像面132上でむらが出ない様に、結像レンズ133とスリット131の間に挿入される。本具体例では、結像面132の結像関係が狂うと、スリット光にむらが生じる欠点があるが、光切断線の位置検出を行う本発明では無視できる。本具体例によれば、第22図と比較して明らかな様に、光軸方向の長さを短かくすることができ、発光ダイオード129の持つ特徴に加え、スリット光源を著しく小型にできる特徴がある。

また、撮像装置と同様に、外枠をプラスチッ

ク等の非金属で構成すれば検出器を著しく小型、軽量化できる効果がある。

なお、第56図と第57図に示すスリット光源の具体例では、スリット光が完全な平板状にならない。この問題は結像レンズ133の径を必要以上に大きくしないことで回避できる。

ロボットアームに取り付ける画像検出器20の他の実施例としては、TVカメラ、リニアセンサまたはポイントセンサ(フォトダイオード、フォトマルなど)とガルバノミラーなどの走査機構との組合せによる濃淡画像検出器がある。本発明ではロボットアーム上の画像検出器による認識処理の前に固定した位置にある距離画像検出器よりの画像の処理を行い、対象物体の主要な平面の法線方向よりロボットアームを接近させ、その方向よりロボットアーム上の画像検出器より画像検出できるので、主要な平面の平面的に正しい形状が検出できるため、従来の濃淡画像処理による平面的な認識法の応用により、対象物体の形状、位置、姿勢の認識ができる。

また、背景と対象物体とを濃淡画像の2値化により分離検出できる場合、2値画像処理、たとえばテンプレートマッチングなどを用いて、高速に対象物体の形状、位置、姿勢の検出ができる。

以上説明したロボットアーム上の画像検出器からの画像の処理によって得られる対象物体の位置および姿勢は、画像検出器に固定された座標系によるもの、すなわちロボットアームとの相対位置関係であるから、ロボットアームのたわみなどによって絶対位置決め精度が悪い場合にもロボットアームを精度良く対象物体にアプローチさせることができる。また、この場合ロボット制御装置は、ロボットアームからの検出時点のロボットアームの姿勢と、イメージプロセッサからの対象物体の位置と姿勢から、ロボットの各軸の動作量を計算する必要がある。

次に視覚系の他の構成要素の一つであるイメージプロセッサ21の一実施例を第25図に示す。イメージプロセッサ21は、距離画像検出器19お

よびロボットアーム上の画像検出器20より検出された画像を前述した方法に従って処理し、対象物体11を発見、その位置、姿勢を認識し、その情報をロボット制御装置18に伝送する。イメージプロセッサ21は、マイクロプロセッサ48で制御され、ROM49に収納されたプログラムによって動作する。距離画像を生成するための光切断線抽出装置42およびロボットアーム上の画像検出器20とは高速の平行I/F 50a, 50bにより接続され、検出された画像情報は、RAM51cに収納される。RAM51はこのように画像情報の一時的な保存に用いられるほかに、画像処理過程における作業領域として用いられる。また、ロボット制御装置18とは、インターフェイス52を介して接続され、認識結果を伝送する。

上記したイメージプロセッサ21の実施例は、マイクロプロセッサ48を用いたソフトウェア処理をする場合について述べたが、例えば、2値化処理、微分処理等は比較的簡単なハードウェア構成で実行できるので、部分的にハードウ

エアによる処理を行えば、処理の高速化が図れる。また、非常に高速の処理を行うため、処理アルゴリズムを全てハードウェア化することも装置規模は大きくなるが可能である。

また以上説明した本発明による実施例では、関節形ロボットについて説明したが、直交形ロボット、円筒形ロボットでもよいことは明らかである。

さらに、本発明の他の変形例としては、作業対象によっては、距離画像検出器19のみによる対象物体の認識、ロボットアーム上の画像検出器20のみによる対象物体の認識も可能であることを付け加えておく。

#### 〔発明の効果〕

以上説明したように、本発明によれば、距離画像処理により対象物体の発見、その3次元的位置、姿勢、形状の検出を行っているため、対象物体表面の色、明暗、面荒さ、よごれ等によらず、常に能率のよい認識が可能である。また、距離画像を微分することによって、物体と

物体の境界線を検出しているので、やはり対象物表面の状況によらない安定な物体の分離検出が可能である。さらに以上の効果を組合して、複雑に折り重なった部品または背景から、目的の作業対象物体を識別して、その3次元的位置、姿勢を認識し、ロボットを制御できるという完全な視覚フィードバックを実現することができる。また、本発明によるロボットアーム上の画像検出器と組合せた階層的な処理により、ロボットの絶対的な位置決め精度の悪い場合にも、対象物体に対して精度よく位置決めすることが可能であり、ロボットを組立、検査、調整など広い分野に適用することが可能になる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図及び第2図は従来のロボット視覚を示した図、第3図は距離画像を説明した図、第4図、第5図、第6図、第7図及び第8図は本発明による距離画像の処理過程を示した図、第9図は直方体の2つの見え方を示した図、第10図及び第11図は距離画像のルーフエッジ、ジャン

ブエッジを示した図、第12図は距離画像処理による物体の姿勢の定義を扱った図、第13図は本発明による実施例の全体構成を示した図、第14図はロボット制御装置を説明した図、第15図は距離画像検出器の一実施例を示した図、第16図、第17図、第18図、第19図及び第20図はその検出過程を示した図、第21図は他の距離画像検出器の例、第22図は距離画像の形の生じる原因を説明した図、第23図及び第24図はロボットアーム上の画像検出器の一実施例を示す図、第25図はイメージプロセッサの一実施例を示した図、第26図は本発明に係る光切断線抽出回路を示す概略構成図、第27図は第26図の示す回路の機能を説明するための図、第28図は第27図に示す回路を具体的に示した構成図、第29図は第23図に示す本発明に係るロボット視覚装置の一実施例を具体的に示した図、第30図は第23図及び第29図に示す実施例における作業対象を説明するための図、第31図は光切断線の例を示す図、第32図は光切断線抽出処理を説明するため

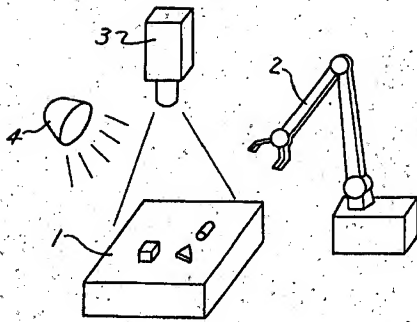
の図、第33図は距離画像の例を示す図、第34図は光切断線と撮像装置の中心と目的物表面との関係を示した図、第35図は距離画像におけるジャンプエッジとルーフエッジとを示す図、第36図は距離画像信号を微分してジャンプエッジを検出するために $3 \times 3$ の検索についての距離を切出した状態を示す図、第37図は本発明に係る第29図と異なる他の一実施例を示した図、第38図は更に本発明に係る他の一実施例を示した図、第39図は第24図に示す如く本発明に係るロボット十字切断線視覚装置の原理となる検出器の斜視図、第40図は第39図に示す検出器の基本構成を示す斜視図、第41図は第39図に示す検出器による等距離線と等幅線を表わした図、第42図は等距離線と等幅線を得る検出器の斜視図、第43図は等距離線の一列を示す図、第44図は等幅線の一列を示す図、第45図は第43図に示す等距離線の変化を表わした図、第46図は第44図に示す等幅線の変化を表わした図、第47図は光切断線の抽出方法を表わす図、第48図及び第49図は

検出対象物体の一例を示す図、第50図、第51図、第52図は第48図に示す検出対象物体の検出処理過程を示す図、第53図は第49図に示す検出対象物体の検出画像を示す図、第54図は第24図に示す~~第55図は第54図に示すロボット視覚装置の全体構成の一実施例を示す図、~~第55図(a)と第57図(a)は本発明に係るロボット視覚装置の検出器に用いるスリット光源の具体例を示す平面図、第56図(b)と第57図(b)は本発明のロボット視覚装置の検出器に用いるスリット光源の具体例を示す正面図である。

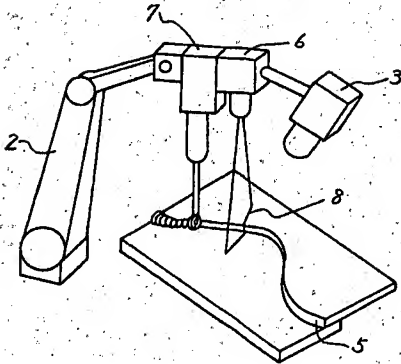
- 9…距離画像      11…対象物体
- 17…ロボットアーム 18…ロボット制御装置
- 19…距離画像検出器
- 20…ロボットアーム上の画像検出器
- 21…イメージプロセッサ
- 38…スリット光      39…スリット光源
- 42…光切断線抽出装置
- 45…TVカメラ



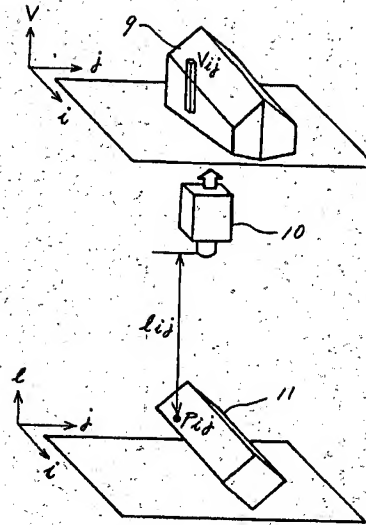
第1圖



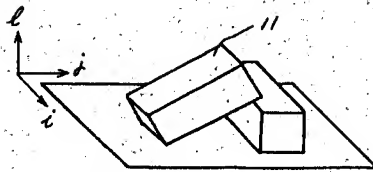
第2圖



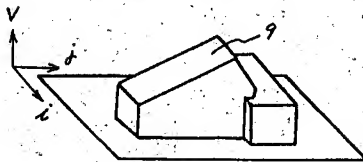
第3圖



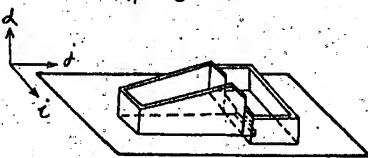
第4圖



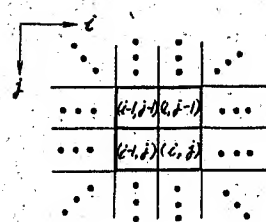
第5圖



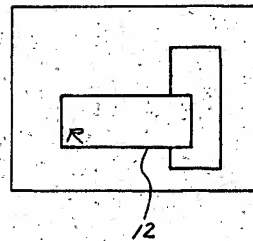
第6圖



第7圖

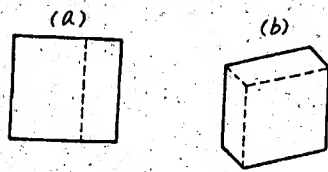


第8圖

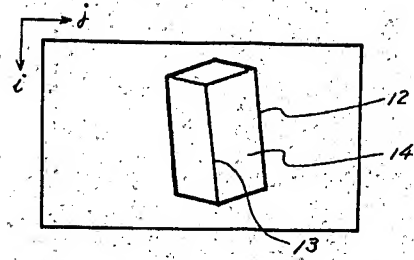




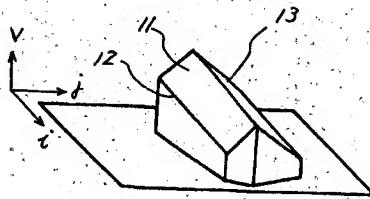
第9圖



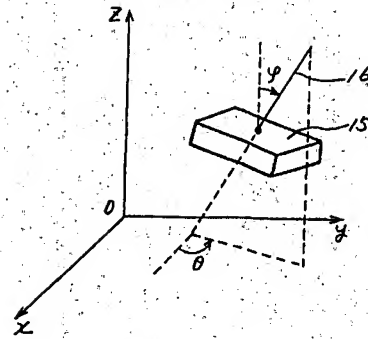
第11圖



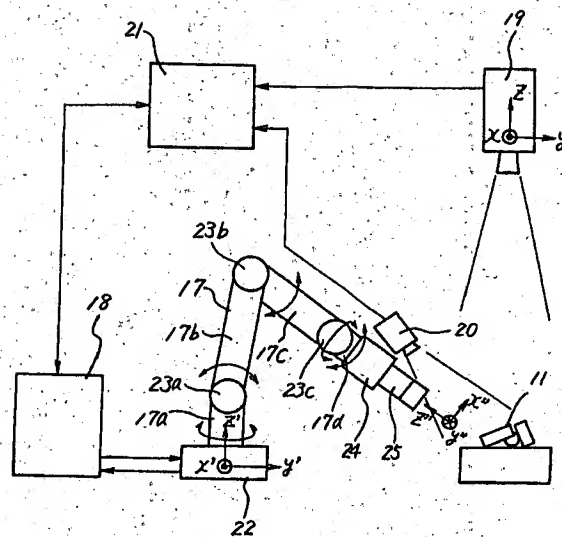
第10圖



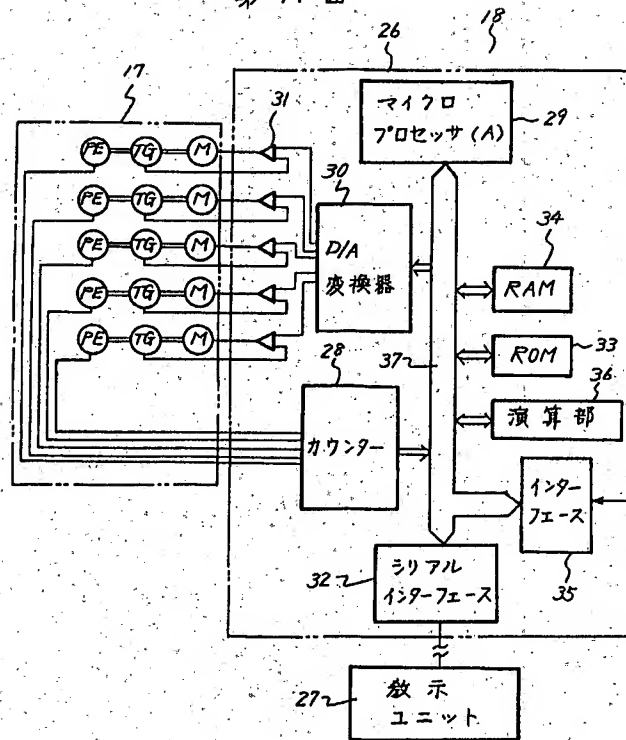
第12圖



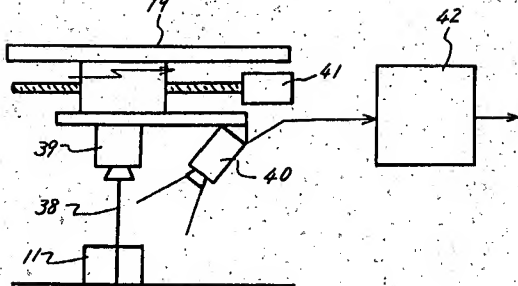
第13圖



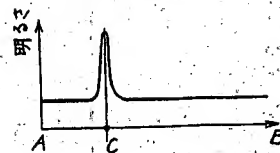
第14図



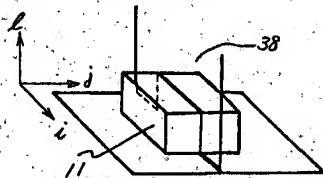
第15図



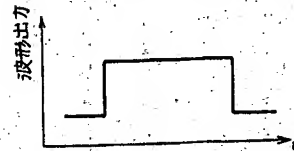
第18図



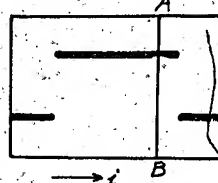
第16図



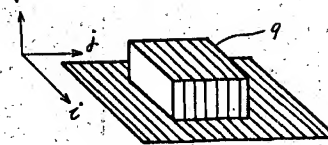
第19図



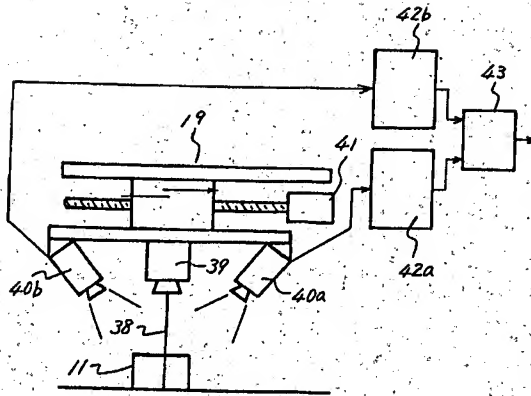
第17図



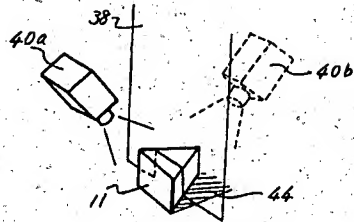
第20図



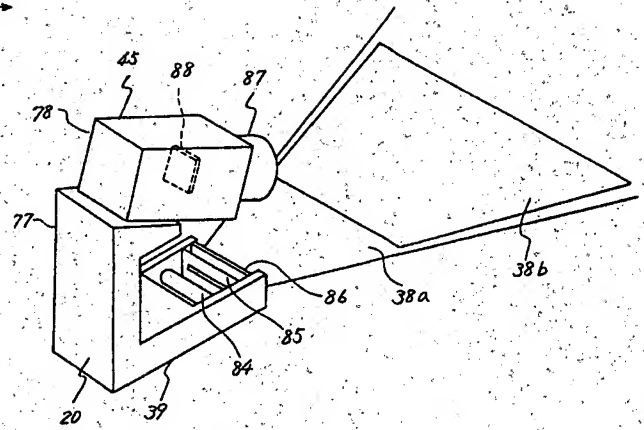
第 21 図



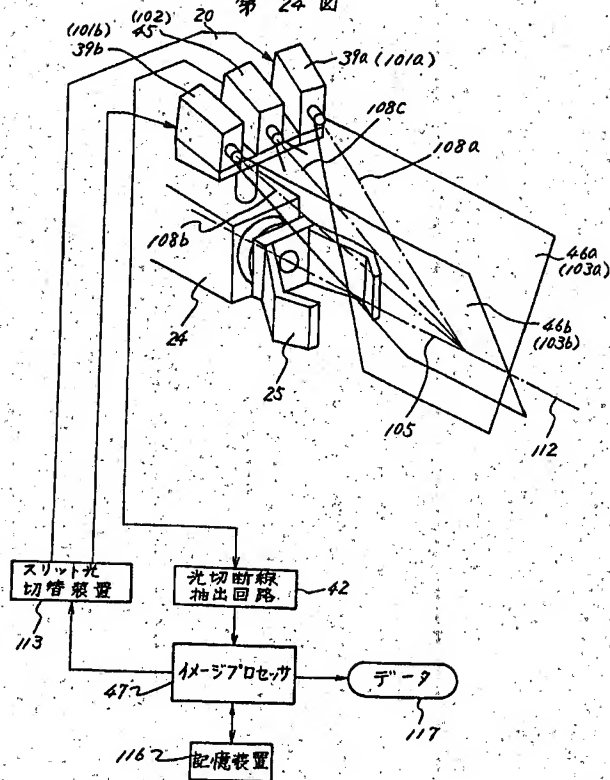
第 22 図



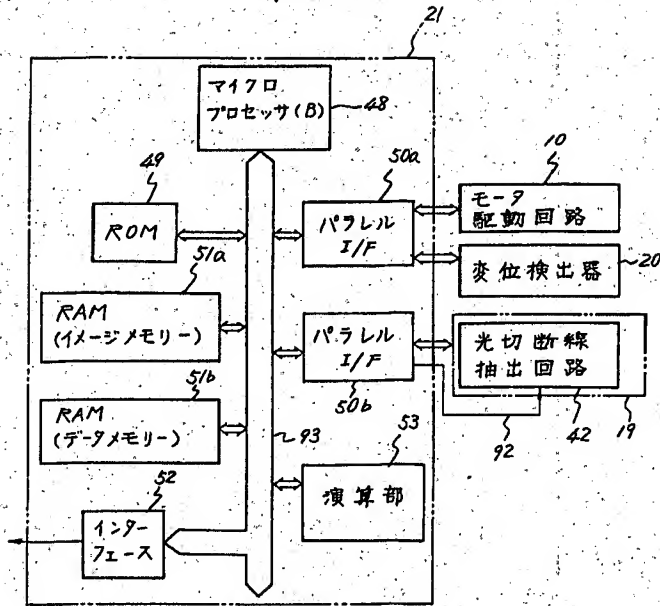
第 23 図



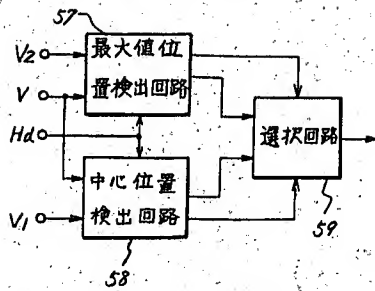
第 24 図



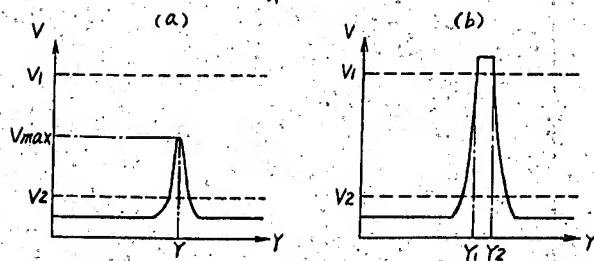
第 25 図



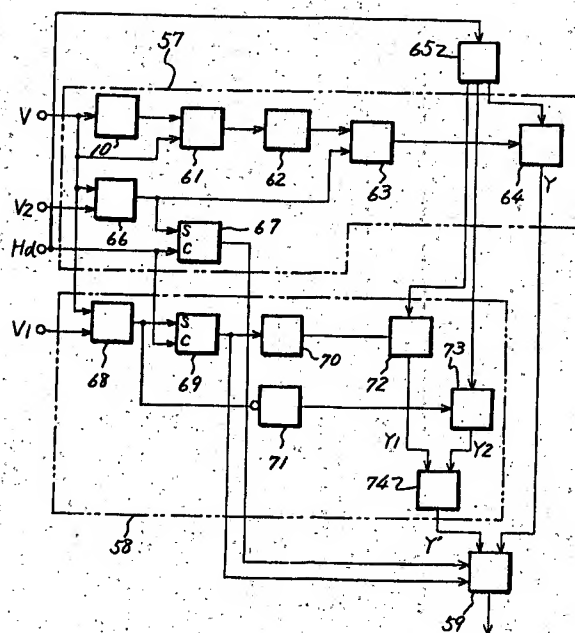
第 26 図



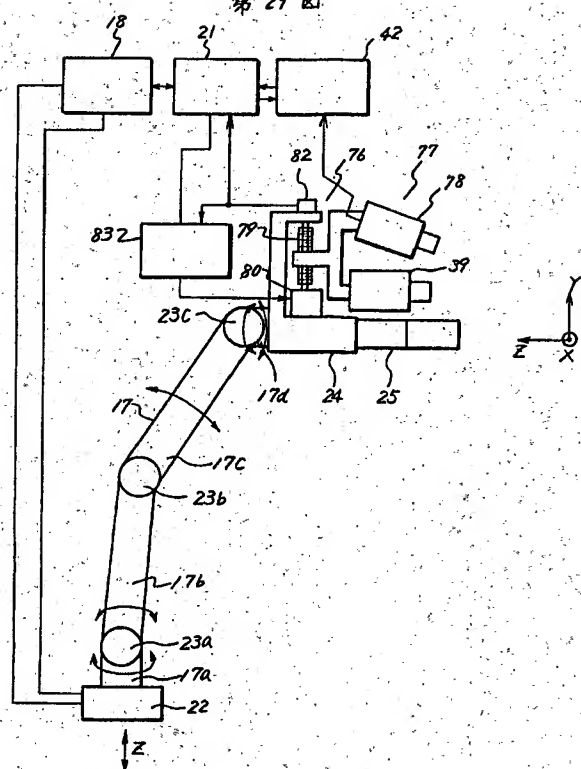
第 27 図



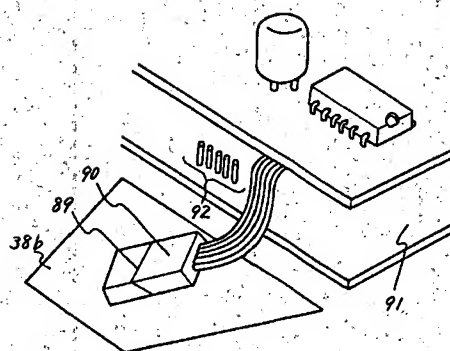
第 28 圖



第 29 圖

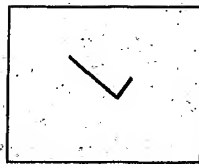


第 30 圖

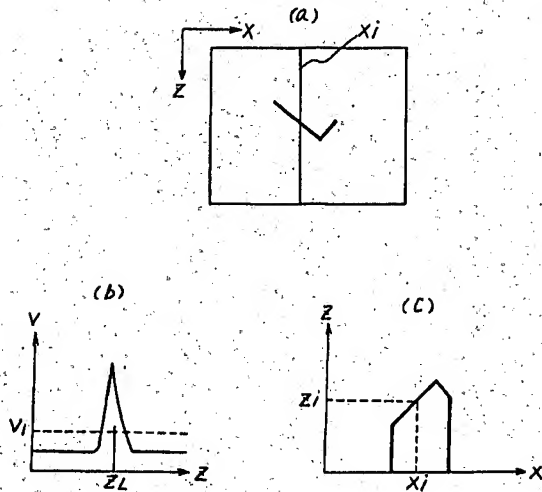




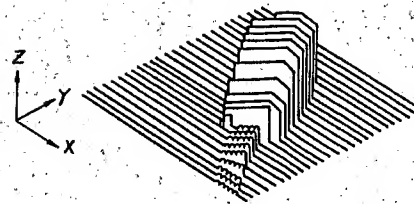
第 31 圖



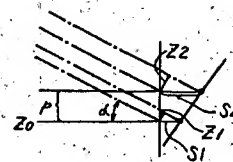
第 32 圖



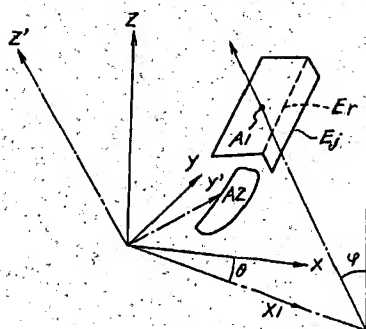
第 33 圖



第 34 圖



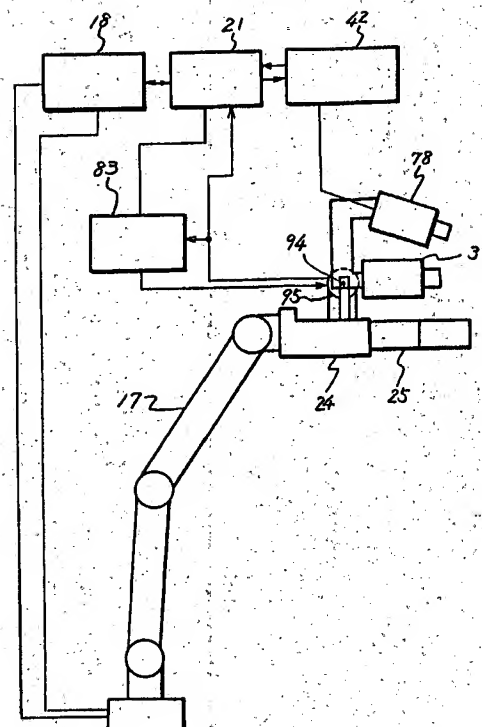
第 35 圖

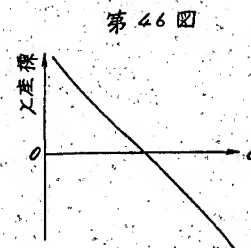
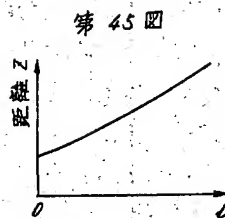
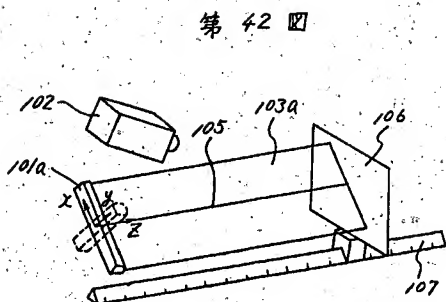
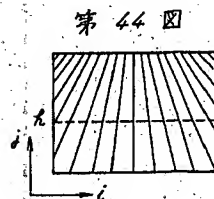
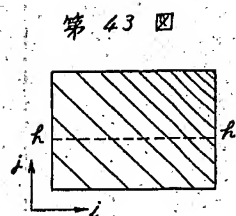
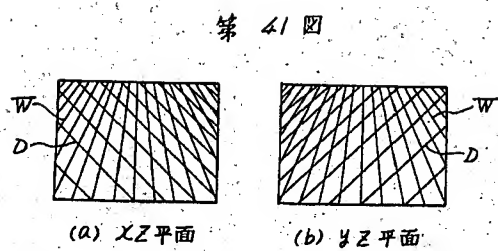
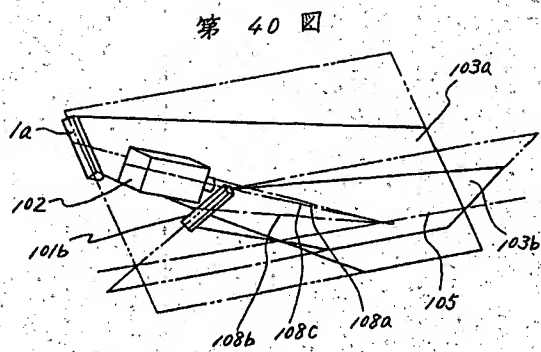
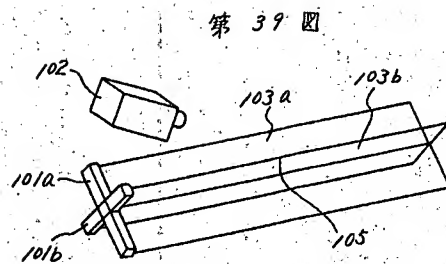
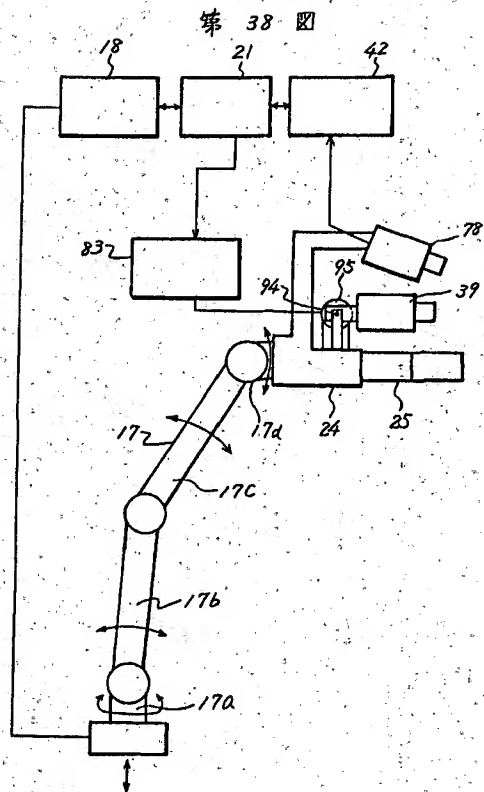


第 36 圖

$x_{j-1}$	$z_{i-1,j-1}$	$z_{i,j-1}$	$z_{i+1,j-1}$
$x_j$	$z_{i-1,j}$	$z_{i,j}$	$z_{i+1,j}$
$x_{j+1}$	$z_{i-1,j+1}$	$z_{i,j+1}$	$z_{i+1,j+1}$
	$x_{i-1}$	$x_i$	$x_{i+1}$

第 37 圖

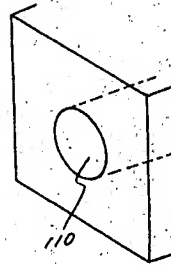




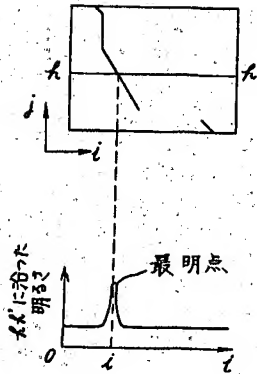
第 48 圖



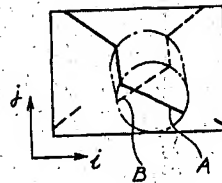
第 49 回



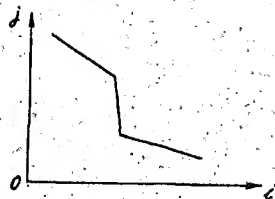
第 47 圖



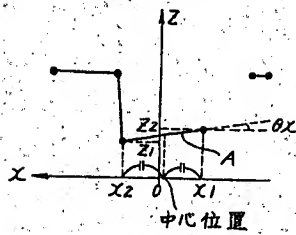
第 50 圖



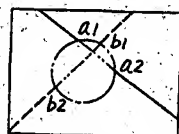
第 51 圖



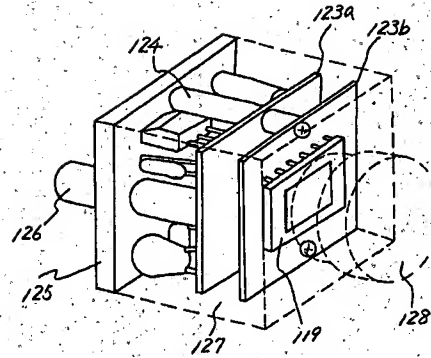
第 52 圖



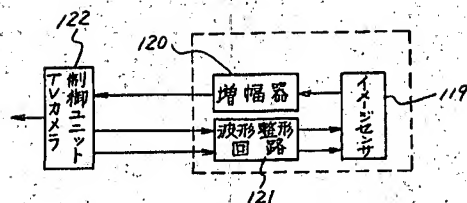
第 53 圖



第 54 圖

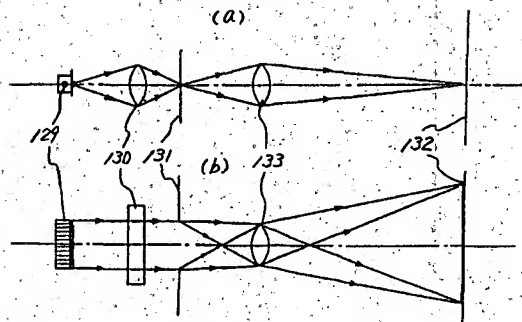


第 55 圖



第 56 図

(a)



第 57 図

(a)

